

A numerical study of pyroclastic density currents by a two-layer shallow-water model

その他のタイトル	二層浅水波モデルに基づく火砕流ダイナミクスの数値的研究
学位授与年月日	2018-03-22
URL	http://doi.org/10.15083/00077946

論文審査の結果の要旨

氏名 志水 宏行

高温の火山砕屑物とガスの混合物が重力流として地表面を流動する「火砕流」は複雑な流体现象であり、そのモデル化や流動・堆積過程の解明は、火山噴火現象の理解において重要である。本論文では火砕流の大局的な特徴を捉えることができる二層浅水波モデルを開発し、数値シミュレーションを基に火砕流の流動・堆積過程を支配する基本的物理量や条件を明らかにしている。また、計算結果をもとに実際の現象や堆積物の成因について議論し、火砕流ダイナミクスの解明に挑戦している。

本論文は7章からなる。第1章はイントロダクションである。前半では従来の火砕流現象と堆積物の研究をレビューし、堆積物形状や構造の多様性についてまとめている。後半では火砕流が一般的に高濃度の底部とそれを覆う低濃度部で構成され、それぞれを支配する物理過程が異なること、高濃度部と低濃度部の相互作用が火砕流ダイナミクスの理解において重要であることを述べている。そして本論文では流れを支配する基本的物理量とその堆積過程への影響を明らかにするため、浅水波モデルにより火砕流を記述することを述べ、従来の研究を紹介する。

第2章ではモデルの定式化を行う。まず非粘性ナビエストークス方程式から一層浅水波方程式を導出する。次に高濃度部と低濃度部に分けて定式化を行い、非定常二層浅水波方程式を導出する。粒子沈降則、抵抗則、堆積モデル、先端条件の定式化を行い、最後に軸対称系での方程式を導出する。従来考慮されていなかった低濃度部での大気を取り込み・膨張の効果や先端抵抗の効果を検討した新たなモデルを開発したことが重要な点である。

第3章では有限体積法に基づく数値解法と先端条件の取り扱いについて述べている。

第4章では計算結果を軸対象系と1次元チャンネル系の順にまとめている。まず初期条件と境界条件の設定、入力パラメータについて述べている。噴煙柱崩壊により低濃度部のみの火砕流が一定噴出率で供給され、時間発展するという条件のもと、噴出率、初期温度、粒子沈降速度、堆積率を変えて計算を行う。その結果、低濃度部からの粒子沈降による高濃度部の発達とその定常状態への収束、高濃度部からの累進的堆積、低濃度部の密度低下に伴うリフト・オフなど、火砕流ダイナミクスの理解において重要と考えられるプロセスの再現に成功している。また定常状態は、高濃度部と低濃度部の発達様式の違いによりレジーム 1、2a、2b に区分できることを示している。低温の場合レジーム境界が噴出率に依存することや、条件により先端部が定常流走距離を越えて流れる現象（オーバー・シュート）が起こることを明らかにしている。

第5章は議論である。支配方程式を無次元化することにより代表的無次元量を導出し、

それらの流動・堆積過程への影響を段階的に整理している。またレジーム・ダイアグラムを作成しレジーム遷移と無次元量との関係を議論する。レジーム遷移で重要な無次元量は高濃度部からの堆積速度と低濃度部からの沈降速度との比 (D/W_s) であること、流走距離が W_s/U_{a0} と負の相関を示すこと、オーバー・シュートも W_s/U_{a0} に依存することなど物理量と流動・堆積過程との関係を定量的に示している。とくに新しいモデルで二層構造や大気を取り込みを考慮したことにより、物理量に依存して3つの堆積レジームが存在することや、流走距離・堆積構造に対する初期温度依存性など、従来の研究では捉えられなかった火砕流ダイナミクスを明らかにした点は重要である。

第6章では計算結果と地質学的観察事実との対応付けを試みている。実際の火砕流堆積物の形状と構造（層構造と塊状構造の違いなど）の多様性を堆積レジームの違いにより説明している。また堆積物基底層（グラウンド・レイヤー）の成因、リフト・オフに由来する広域火山灰の生産率、堆積温度の特徴など天然の観察事実を本研究に基づき説明している。数値計算によると、低温の場合大気を取り込みが抑制され低濃度部がより発達し、層構造をもつ堆積物が形成されやすいことになるが、これは実際にマグマ水蒸気爆発など低温の爆発的噴火において、層構造が卓越する堆積物が形成される観察事実と整合的である。大気を取り込みを考慮しない従来の浅水波モデルでは難しかった議論を可能にしておき、本研究は火砕流の物理量と堆積構造との関係の理解を進展させたと言える。

第7章では本研究で得られた結果をまとめ、今後の課題について述べている。

本研究では独自に開発した二層浅水波モデルに基づく火砕流数値シミュレーションを行い、火砕流の流動・堆積過程を支配する基本的物理量や条件を詳細に明らかにした。研究内容は実際の火砕流現象と堆積物の多様性の原因を理解する上で有用であるとともに、今後の火砕流モデルの高度化に向けた基礎を担うものであり、火山噴火現象の解明に貢献する優れた研究成果と判断できる。

なお、本論文の一部は小屋口剛博氏、鈴木雄治郎氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって計算、解析及び考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。